



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
F 02 G 1/055

97 EP 0 995 028 B 1

10 DE 698 03 185 T 2

- |    |                                                       |                |
|----|-------------------------------------------------------|----------------|
| 21 | Deutsches Aktenzeichen:                               | 698 03 185.7   |
| 86 | PCT-Aktenzeichen:                                     | PCT/US98/14619 |
| 96 | Europäisches Aktenzeichen:                            | 98 934 556.6   |
| 67 | PCT-Veröffentlichungs-Nr.:                            | WO 99/04155    |
| 86 | PCT-Anmeldetag:                                       | 15. 7. 1998    |
| 87 | Veröffentlichungstag<br>der PCT-Anmeldung:            | 28. 1. 1999    |
| 97 | Erstveröffentlichung durch das EPA:                   | 26. 4. 2000    |
| 97 | Veröffentlichungstag<br>der Patenterteilung beim EPA: | 16. 1. 2002    |
| 47 | Veröffentlichungstag im Patentblatt:                  | 22. 8. 2002    |

30 Unionspriorität:  
897262 18. 07. 1997 US

73 Patentinhaber:  
STM Power, Inc., Ann Arbor, Mich., US

74 Vertreter:  
Patentanwälte Dr. Solf & Zapf, 81543 München

84 Benannte Vertragsstaaten:  
DE, FR, GB

72 Erfinder:  
MARCHIONNA, R., Nicholas, Ann Arbor, US;  
BRUSSTAR, J., Matthew, South Lyon, US

54 HEISSGAS-MASCHINENBRENNKAMMER

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 698 03 185 T 2

BEST AVAILABLE COPY

0 995 028  
98934556.6

M 5098/M/hn

#### HINTERGRUND UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Diese Erfindung betrifft einen Combustor für einen Wärmemotor, wie etwa einen Stirling-Kreislauf-Wärmemotor, und insbesondere einen verbesserten Combustor für einen Wärmemotor, der dazu ausgelegt ist, Hochtemperatur-Verbrennungseinlassluft zu nutzen, und der niedrige NOx-Emissionseigenschaften besitzt.

Combustoren in Wärmemotoren werden verwendet, um einen Kraftstoff, wie etwa natürliches Gas, Benzin oder Diesel, zu verbrennen, um Wärme zu erzeugen. Wärme von dem Verbrennungsgas, das erzeugt wird durch Verbrennen des Kraftstoffs, wird auf ein Arbeitsfluid übertragen, das in dem Wärmemotor zirkuliert durch einen Heizeraufbau an dem Wärmemotor. Das Arbeitsfluid unterliegt einem thermodynamischen Zyklus innerhalb des Wärmemotors, der Wärmeenergie in dem Arbeitsfluid in mechanische Ausgangsenergie wandelt. Diese mechanische Ausgangsenergie kann für eine Vielzahl von Zwecken eingesetzt werden, wie etwa zum Antreiben eines elektrischen Generators zur Erzeugung von Elektrizität, oder zum Antreiben anderer mechanischer Bauteile, wie etwa eines Kraftfahrzeugantriebszugs, einer Bewässerungspumpe und dergleichen.

Der in Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Combustor verwendete Wärmemotor kann einen Stirling-Kreislauf-Wärmemotor ähnlich demjenigen umfassen, der bereits entwickelt wurde durch den Inhaber der vorliegenden Erfindung, Stirling Thermal Motors, Inc., umfassend diejenigen Motoren, die erläutert sind in den US-Patent Nrn. 4 481 771, 4 532 855, 4 615 261,

4 579 046, 4 669 736, 4 836 094, 4 885 980, 4 707 990, 4 439 169, 4 994 004, 4 977 742, 4 074 114, 4 966 841 und 5 611 021, auf die hiermit Bezug genommen wird. Grundmerkmale zahlreicher der Stirling-Kreislauf-Wärmemotoren, die in den vorstehend genannten Patenten erläutert sind, können in Verbindung mit einem Wärmemotor implementiert sein, der die vorliegende Erfindung einschließt.

Die Verbrennung von Kraftstoff erzeugt typischerweise drei Arten von gefährlichen Materialemissionen: flüchtige organische Verbindungen ("VOC"s), Kohlenstoffmonoxid ("CO") und Stickstoffoxide ("NOx-Verbindungen"), wie etwa Stickoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> usw. Aufgrund ihrer relativ instabilen chemischen Natur, sind VOCs und CO typischerweise vergleichsweise problemlos reduzierbar oder im wesentlichen beseitigbar, wie etwa durch Verwendung von Katalysatormaterialien im Abgassystem. NOx-Verbindungen sind andererseits chemisch stabiler und schwieriger zu beseitigen, nachdem sie während des Verbrennungsprozesses gebildet worden sind.

NOx-Verbindungen werden während eines Verbrennungsprozesses gebildet, wenn die Verbrennungseinlassluft und Kraftstoff bei der Verbrennung des Kraftstoffs nicht sorgfältig genug gemischt werden. Die Qualität der gebildeten NOx-Verbindungen neigt außerdem dazu, besser zu werden, wenn die Temperatur, bei welcher die Verbrennung stattfindet, erhöht wird. Das am weitesten verbreitete Verfahren zum Reduzieren von NOx-Emissionen aus einem Verbrennungsprozess besteht darin, den Misch- und Verbrennungsprozess zu optimieren und die Verbrennungstemperatur abzusenken. Die niedrigsten Emissionsraten von NOx-Verbindungen werden aktuell erzielt von Verbrennungssystemen, in welchen der Kraftstoff und die Verbrennungseinlassluft

vor einer Verbrennung sorgfältig vorgemischt werden, wobei die Verbrennungseinlassluft in etwa bei Raumtemperatur vorliegt.

Das Entwickeln eines stationären Combusters unter Verwendung vorgemischten Kraftstoffs und Verbrennungseinlassluft zur Reduzierung der Menge der NO<sub>x</sub>-Verbindungen, die während des Verbrennungsprozesses gebildet werden, ist relativ unproblematisch, wenn die Verbrennungseinlassluft in etwa auf Raumtemperatur vorliegt. Wärmemotoren zeigen jedoch typischerweise eine Verbesserung ihres thermischen Wirkungsgrads (und dadurch eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs), wenn Wärme aus dem Abgasverbrennungsgas auf die zuströmende Verbrennungseinlassluft übertragen wird. Dies reduziert das Wärmeverlustausmaß in dem Abgas und erhöht im wesentlichen den Gesamtwirkungsgrad des Systems. Durch Verwenden hochgradig effektiver Verbrennungseinlassluft-Vorheizgeräte (ein Typ eines Wärmetauschers) kann die zuströmende Verbrennungseinlassluft auf sehr hohe Temperaturen, bis hin zu 800°C, erwärmt werden, bevor sie mit dem Kraftstoff gemischt wird. Herkömmliche Combustoren mit geringem NO<sub>x</sub>-Gehalt sind nicht so konstruiert bzw. dazu erstellt, unter diesen extremen Betriebsbedingungen zu arbeiten. Es handelt sich um ein Vormisch-Combustor-System, wenn die Temperatur der Verbrennungseinlassluft im wesentlichen die Selbstentzündungstemperatur des Kraftstoff-/Luftgemisches übersteigt. Wenn die Temperatur der Verbrennungseinlassluft im wesentlichen die Selbstentzündungstemperatur des Kraftstoffs übersteigt, würde der Einsatz eines derartigen Vormischsystems zu einer vorzeitigen Zündung des Kraftstoff-/Luftgemisches führen und außerdem zu einer eventuellen Zerstörung des Combustoraufbaus.

Der erfindungsgemäße Combustor erlaubt die Verwendung von Hochtemperatur-Verbrennungseinlassluft und beschränkt gleichzeitig die Bildung von NO<sub>x</sub>-Verbindungen während des Verbrennungsprozesses. Der Combustor enthält eine große Anzahl von Düsen, die einen Teil des Kraftstoffs und der Verbrennungseinlassluft miteinander in einer internen Mischkammer mischen, bevor das verwirbelte Kraftstoff-/Luftgemisch in eine gemeinsame Verbrennungskammer ausgetragen wird. Niederdruckbereiche werden erzeugt, wenn das Kraftstoff-/Luftgemisch aus den Düsen ausgetragen wird, was dazu beiträgt, das Verbrennungsgas zurück in die durch den Düsenaustrag erzeugten Wirbelströme umzuwälzen. Dieses stabile aerodynamische Verwirbelungsmuster und die Umwälzung des Verbrennungsgases innerhalb der Verbrennungskammer stellt einen kontinuierlichen Verbrennungsprozess derart bereit, dass eine Zündeinrichtung (d.h. eine Zündkerze) nur dazu erforderlich ist, den Verbrennungsprozess zu starten. Die Stabilität des Verbrennungsprozesses gestattet einen weiten Bereich von Betriebsbedingungen ohne zusätzliche mechanische Hilfsmittel.

Der erfindungsgemäße Combustor ist mit einer Zündeinrichtung versehen, die die Verbrennung des Kraftstoff-/Luftgemisches initiiert, wenn der Wärmemotor gestartet wird. Wenn die Komponenten des Wärmemotors sich erwärmen, wird die Temperatur der Verbrennungseinlassluft erhöht, bis die Verbrennungseinlasslufttemperatur ausreichend höher geworden ist, damit die Temperatur des Kraftstoff-/Luftgemisches ihre Selbstzündungstemperatur übersteigen kann. Die Düsen in dem erfindungsgemäßen Combustor sind dazu ausgelegt worden, ein rasches und wirksames Mischen der Verbrennungseinlassluft mit dem Kraftstoff und eine Verbrennung des Kraftstoff-/Luftgemisches selbst dann bereitzustellen, wenn die Temperatur der Verbrennungseinlassluft

die Selbstzündungstemperatur des Kraftstoff-/Luftgemisches im wesentlichen bzw. deutlich übersteigt. Dies führt zu einer sehr geringen Erzeugung von NOx-Verbindungen, selbst bei sehr hohen Verbrennungseinlasslufttemperaturen. In mit dem erfindungsgemäßen Combustor durchgeführten Tests, bei welchen die Temperatur der Verbrennungseinlassluft sich 800°C genähert hat, war die Erzeugung von NOx-Verbindungen derart gering, dass die Pegel durch die Labortesteinrichtung nicht gemessen werden konnten (d.h., die Menge der NOx-Verbindungen in dem Verbrennungsabgas war geringer als 1 Teil pro Million bzw. ppm). Durch Herstellen der Bestandteile des erfindungsgemäßen Combustors auch aus Hochtemperaturlegierungen, wie etwa Inconel 713C, ist der Combustor in der Lage, selbst unter schwierigen Betriebsbedingungen zuverlässig zu arbeiten, wie etwa dann, wenn die Verbrennungseinlasslufttemperatur sich 800°C annähert.

Der erfindungsgemäße Combustor zeichnet sich außerdem durch eine kurze Flammenlänge aus, was dazu beiträgt, die Größe der benötigten Verbrennungskammer verringern zu können. Eine relativ kleine Verbrennungskammer ist besonders wichtig für mobile Anwendungen des Wärmemotors, wie etwa in Kraftfahrzeuganwendungen.

Die DE-A-49909 erläutert eine Verbrennungsvorrichtung, die ein Gehäuse mit integrierten Durchlässen aufweist, die als Düsen wirken; dieses Patent offenbart jedoch keine unitären Düsen. Die US-A-4 434 766 offenbart eine einzige Düse mit einem Tangentiallufteinlass; dieses Patent offenbart jedoch kein Array bzw. keine Gruppierung von Düsen.

Weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung erschließen sich aus der folgenden Beschreibung und den anliegenden Ansprüchen in Verbindung mit den anliegenden Zeichnungen.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 zeigt eine Querschnittsansicht durch einen Wärmemotorcombustor in Übereinstimmung mit dieser Erfindung;

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf den Combustor von Fig. 1;

Fig. 3 zeigt eine vergrößerte Seitenansicht einer Combustordüse in Übereinstimmung mit dieser Erfindung;

Fig. 4 zeigt eine vergrößerte Querschnittsansicht der Düse entlang der Linie 4-4 von Fig. 3;

Fig. 5 zeigt eine vergrößerte Längsschnittansicht der Düse entlang der Linie 5-5 von Fig. 4.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

Ein Wärmemotorcombustor in Übereinstimmung mit dieser Erfindung ist in einem zusammengebauten und montierten Zustand in Fig. 1 gezeigt und allgemein mit der Bezugsziffer 10 bezeichnet. Der Combustor 10 umfasst eine Anzahl von Bauteilen, einschließlich Düsen 12, einer unteren Platte 14, einer oberen Platte 16, einem Kraftstoffkammergehäuse 18 und eine Zündeinrichtung 20.

## GESAMTAUFBAU

Der Combustor 10 ist erstellt worden, um die Verwendung von Hochtemperaturverbrennungseinlassluft zu ermöglichen, während gleichzeitig niedrige Pegel von NOx-Emissionen erzeugt werden. Dies wird erreicht durch Bereitstellen einer großen Anzahl von Düsen 12, die jeweils gleichzeitig einen Teil des Kraftstoffs und der Verbrennungseinlassluft mischen, bevor das Kraftstoff-/Luftgemisch in die Verbrennungskammer ausgetragen wird. Diese Konstruktion erlaubt die Magerverbrennung des Kraftstoff- und Luftgemisches.

Die Düsen 12 weisen Kraftstoffansaugenden 22 und Kraftstoff-/Luftgemisch-Austragenden 24 auf. Eine untere Platte 14 und eine obere Platte 16 sind parallel zueinander zusammengebaut, und jede der Platten enthält eine Anzahl von Löchern, die fluchten, wenn die Platten in der richtigen Position platziert sind. Die Düsen 12 sind in diesen Löchern so angeordnet, dass die Kraftstoffansaugenden 22 der Düsen 12 sich über der oberen Platte 16 erstrecken, und dass die Kraftstoff-/Luftgemisch-Austragenden 24 der Düsen 12 sich unterhalb der unteren Platte 14 erstrecken. Wie gezeigt, bilden die Kraftstoffansaugenden 22 und die Kraftstoff-/Luftgemisch-Austragenden 24 der Düsen 12 parallele einander gegenüberliegende ebene Oberflächen, wenn die Düsen 12 in der unteren Platte 14 und der oberen Platte 16 angeordnet sind. Die Formen und Betriebseigenschaften bzw. -kennlinien der Düsen 12 sind nachfolgend näher erläutert.

Der Raum zwischen der unteren Platte 14 und der oberen Platte 16 umfasst eine Verbrennungseinlassluftkammer 26. Angesaugte Verbrennungseinlassluft wird in den Verbrennungsmotor durch



ein Gebläse oder einen Lüfter (nicht gezeigt) angesaugt, das bzw. der die Luft durch ein Vorheizgerät (nachfolgend erläutert) und in die Verbrennungseinlassluftkammer 26 hinein unter Überdruck bewegt. Der Raum zwischen der oberen Platte 16 und dem Kraftstoffkammergehäuse 18 umfasst eine Kraftstoffkammer 28. Kraftstoff wird in die Kraftstoffkammer 28 unter Überdruck zugeführt, wie etwa durch eine Tank- oder Versorgungsleitung. Der Kraftstoff und die Verbrennungseinlassluft werden in den Düsen 12 gemischt unter Erzeugung eines verwirbelten Kraftstoff-/Luftgemisches, welches daraufhin in die Verbrennungskammer 30 ausgetragen wird, wo das Gemisch verbrannt wird. Das aus dem Verbrennen des Kraftstoff-/Luftgemisches resultierende Verbrennungsgas strömt zwischen Heizgeräteröhren 32, wo ein Teil der Wärme in dem Verbrennungsgas auf ein Arbeitsfluid übertragen wird, das die Heizgeräteröhren 32 durchströmt. Nach dem Durchströmen zwischen den Heizgeräteröhren 32 durchströmt das Verbrennungsgas ein Vorheizgerät, eine Art eines Wärmetauschers, das die zuströmende Verbrennungseinlassluft mit Wärme aus dem Verbrennungsabgas erwärmt. Ein Vorheizgerät des in Fig. 1A, 25, 26, 27 und 28 gezeigten und in den Spalten 15 und 16 der US-Patentschrift Nr. 5 611 201 erläuterten Typs kann zu diesem Zweck verwendet werden. Das Abgas wird daraufhin aus dem Wärmemotor ausgetragen.

Wenn der Wärmemotor gestartet wird, wird die anfängliche Verbrennung des Kraftstoff-/Luftgemisches durch eine Zündeinrichtung 20 initiiert. Ein mit dem äußeren Ende 24 der Zündeinrichtung 20 verbundener elektrischer Stecker oder Verbinder legt elektrischen Strom an, und dies führt dazu, dass ein Funken von einem Innenende 36 der Zündeinrichtung 20, das unter der unteren Platte 14 zu liegen kommt, zu einem der benachbarten Metалldüsen 15 überschlägt. Dieser Funken ruft eine an-

fängliche Zündung und ein anfängliches Verbrennen des Kraftstoff-/Luftgemisches hervor. Nachdem eine stabile Flammenfront innerhalb der Verbrennungskammer 30 sich ausgebildet hat, kann die Zündeinrichtung 20 ausgeschaltet werden.

Der Combustor 10 ist in einem Combustorgehäuse 38 eingeschlossen. Das Combustorgehäuse 38 trägt bevorzugt zur Isolierung des Combustoraufbaus 10 bei, um den Wärmeverlust von dem Combustor 10 zu reduzieren und den thermischen Wirkungsgrad des Wärmemotors zu verbessern. Ein Verfahren zum Isolieren des Combustors 10 besteht darin, ein Verbrennungsgehäuse 38, das getrennte Außen- und Innenseiten bzw. -flächen aufweist, wie gezeigt, mit einer isolierenden Schicht zwischen diesen Flächen zu versehen.

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht des Combustors 10 ausgehend von der Umgebung der oberen Platte 16. Fig. 2 zeigt deutlicher, dass die Düsen 12 im Bereich der Zündeinrichtung 20 dicht gepackt vorliegen. Wie in Fig. 2 gezeigt, ist bevorzugt, dass jede der Düsen 12 zu den jeweiligen benachbarten Düsen gleichermaßen beabstandet ist, und dass die maximal mögliche Anzahl von Düsen eingesetzt wird. Der gleichmäßige Abstand der Düsen und das Vorsehen der größtmöglichen Anzahl von Düsen verbessert die Gleichmäßigkeit bei der Verteilung des Kraftstoff-/Luftgemisches und reduziert die Bildung von NO<sub>x</sub>-Verbindungen. Fig. 2 zeigt, dass dann, wenn die Düsen 12 ründ sind und dicht gepackt vorliegen, die Spalte zwischen den Düsen aus dreieckig geformten Bereichen bestehen können, die mit weiteren dreieckig geformten Bereichen an den Ecken vereinigt sind. Gezeigt sind außerdem der Außenumfang des Kraftstoffkammergehäuses 18 sowie Befestigungselemente 42, die verwendet

werden, um das Kraftstoffkammergehäuse 18 an den übrigen Bestandteilen des Combustors 10 festzulegen.

In Fig. 2 sind Teile der Heizgeräterohre 32 und des Vorheizgeräts 44 gezeigt. Wie vorstehend erläutert, strömt das Verbrennungsgas, nachdem das Kraftstoff-/Luftgemisch verbrannt worden ist, zwischen den Heizgeräterohren 32 hindurch, in welchen Arbeitsfluid zirkuliert. In der in Fig. 2 gezeigten Ausführungsform des Wärmemotors besitzen die Heizerrohre 32 eine umgekehrte bzw. auf dem Kopf stehende "U"-Form und lediglich der gekrümmte Abschnitt an der Oberseite der Rohre ist sichtbar. Ein Teil der Wärme in dem Verbrennungsgas wird auf das Arbeitsgas in den Heizgeräterohren 32 übertragen, wenn das Verbrennungsgas zwischen den Heizgeräterohren hindurchströmt. Das Verbrennungsgas strömt daraufhin durch das Vorheizgerät 44. Bei dem Vorheizgerät 44 handelt es sich um einen Wärmetauscher, der Wärme von dem Verbrennungsgas auf die zuströmende Verbrennungseinlassluft überträgt. Zahlreiche Vorheizgerätekonstruktionen für Wärmemotoren sind dem Fachmann geläufig. Nachdem es das Vorheizgerät 44 durchströmt hat, wird das Verbrennungsgas aus dem Wärmemotor ausgetragen.

#### DIE DÜSEN

Die Geometrien der Düsen 12 sind in Fig. 3, 4 und 5 im einzelnen gezeigt. Fig. 3 zeigt eine Außenansicht einer Düse 12. Das Kraftstoffansaugende 22 der Düse 12 weist einen verjüngten oberen Abschnitt 46 auf, der dazu beiträgt, das Kraftstoffansaugende 22 zu führen, wenn es in die Löcher der unteren Platte 14 und der oberen Platte 16 während der Montage eingeführt wird. Das Kraftstoffansaugende 22 der Düse 12 weist außerdem eine obere ringförmige Eintiefung 48 auf. Die obere ringförmige

ge Eintiefung 48 erlaubt es, dass die Düse 12 in die obere Platte 16 presseingepasst und durch diese rückgehalten wird, wenn der Combustor 10 montiert ist. Sichtbar sind in Fig. 3 außerdem externe Verbrennungseinlassluftöffnungen 50, durch welche Verbrennungseinlassluft in die Düse 12 gelangt. In der gezeigten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Düse 12 liegen vier externe Verbrennungseinlassluftöffnungen 50 vor, von denen in Fig. 3 zwei sichtbar sind. Ein unterer ringförmiger Eintiefungsbereich kann in ähnlicher Weise für den Flanschübergangsbereich 52 der Düse 12 vorgesehen sein, um es der Düse 12 zu erlauben, in ähnlicher Weise in die untere Platte 4 presseingepasst und dort rückgehalten zu werden, wenn der Combustor 10 montiert ist. Die Mittenachse 54 der Düse 12 ist in Fig. 3 außerdem gezeigt. Im Gegensatz zu den Verbrennungseinlassluftdurchlässen und ihren zugeordneten Öffnungen, sind die Düsen 12 um ihre jeweiligen Mittenachsen 54 herum vollständig symmetrisch, wie nachfolgend erläutert.

Fig. 4 zeigt eine Querschnittsansicht der Düse von Fig. 3 entlang der Linie 4-4 von oben nach unten gesehen, durch die Mitten bzw. Zentren der externen Verbrennungseinlassluftöffnungen 50. Diese Ansicht zeigt, dass die externen Verbrennungseinlassluftöffnungen 50 Öffnungen sind, die in die Verbrennungseinlassluftdurchlässe 56 münden. Die Verbrennungseinlassluft gelangt in die Düse 12 durch die externen Verbrennungseinlassluftöffnungen 50, durchströmt die Verbrennungseinlassluftdurchlässe 56 und die internen Verbrennungseinlassluftöffnungen 58 und strömt in die Mischkammer 60. Um ein geeignetes Mischen der Verbrennungseinlassluft mit dem Kraftstoff zu fördern, und um die Bildung von NO<sub>x</sub>-Verbindungen während der Verbrennung zu reduzieren, ist wichtig, dass das Kraftstoff-/Luftgemisch verwirbelt wird, wenn es aus der Düse 12 ausge-

tragen wird. Um diese Verwirbelungsbewegung zu erzeugen, sind die internen Verbrennungseinlassluftöffnungen 58 gleichmäßig beabstandet, um die Mittenachse 54 und die Verbrennungseinlassluft wird in die Mischkammer 60 durch die Verbrennungseinlassluftdurchlässe 56 und die internen Verbrennungseinlassluftöffnungen 58 derart geleitet, dass Strömungslinien, die den Massenstrom der Verbrennungseinlassluft bezeichnen, die in die Mischkammer 60 gelangt, tangential zu einem gemeinsamen Kreis verlaufen, und das Zentrum dieses Kreises liegt auf der Mittenachse 54.

Fig. 5 zeigt eine Seitenquerschnittsansicht der Düse 12 von Fig. 3 und 4 entlang der Linie 5-5 von Fig. 4. Kraftstoff gelangt in die Düse 12 durch die externe Kraftstofföffnung 62, strömt durch den Kraftstoffdurchlass 64 und einen Durchlass 66 und gelangt in die Mischkammer 60. Wie vorstehend unter Bezug auf Fig. 4 erläutert, gelangt die Verbrennungseinlassluft in die Mischkammer 60 aus den vier internen Verbrennungseinlassluftöffnungen 58 und erzeugt eine Verwirbelungsbewegung, die den Kraftstoff mit der Kraftstoffeinlassluft mischt. Das Kraftstoff-Luftgemisch wird aus der Mischkammer 60 in die Expansionskammer 68 hinein ausgetragen und daraufhin in die Verbrennungskammer 30, wie vorstehend angesprochen. Die Expansionskammer 68 stellt einen Übergang zwischen den relativ hohen Geschwindigkeiten in der Mischkammer 60 und den relativ niedrigen Geschwindigkeiten in der Verbrennungskammer 30 dar. Das Vermischen der Verbrennungseinlassluft mit dem Kraftstoff findet nicht nur in der Mischkammer 60 statt, sondern dauert an, um in der Expansionskammer 68 und in der Verbrennungskammer 30 stattzufinden.

Der erfindungsgemäße Combustor 10 ist insbesondere dazu erstellt worden, dass die Temperatur der Verbrennungseinlassluft die Selbstentzündungstemperatur des Kraftstoff-Luftgemisches signifikant übersteigt bzw. übersteigen kann. Wenn die Temperatur der Verbrennungseinlassluft die Selbstentzündungstemperatur des Kraftstoff-/Luftgemisches signifikant übersteigt, beginnt die Verbrennung in der Mischkammer 60 stattzufinden, wenn die Moleküle des Kraftstoffs und der Verbrennungseinlassluft miteinander vermischt werden. Um die Möglichkeit einer Selbstentzündung des Kraftstoffes in der Kraftstoffkammer 28 zu verringern und eine sorgfältige Durchmischung der Verbrennungseinlassluft mit Kraftstoff zu fördern, ist es erwünscht, dass der Durchlass 66 einen möglichst kleinen Querschnitt aufweist. Ein Durchlassdurchmesser geringfügig kleiner als 1 mm ist für Düsen verwendet worden, die ungefähr 32 mm lang sind, wobei die Mischkammer 60 einen Durchmesser von ungefähr 8 mm aufweist, und wobei die Verbrennungseinlassluftdurchlässe 56 einen Durchmesser von ungefähr 2,5 mm aufweisen.

Die Düsen 12 und die übrigen Bestandteile des erfindungsgemäßen Combustors, wie etwa die untere Platte 14 und die obere Platte 16, werden bevorzugt aus Hochtemperaturlegierungen, wie etwa Superlegierungsmaterialien, hergestellt. Superlegierungen sind für extreme Hochtemperaturanwendungen entwickelt worden, bei welchen relativ hohe Belastungen angetroffen werden (wie etwa Zugbelastungen, thermische Belastungen, Vibrations- und Stoßbelastungen), und bei denen Oxidationsbeständigkeit häufig erforderlich ist. Diese Superlegierungen werden routinemäßig in Strahlmotorcombustoranwendungen eingesetzt. Durch Herstellen sämtlicher der Bestandteile des Combustors 10 aus demselben Superlegierungsmaterial können Probleme vermieden werden, die durch Unterschiede in Materialeigenschaften hervorgerufen

werden, wie etwa Differenzen bei der Wärmeausdehnung. Die Anmelderinnen gehen davon aus, dass auf Nickel basierende, auf Kobalt basierende und auf Eisen basierende Superlegierungen die besten Eigenschaften für die Bestandteile des erfindungsgemäßen Combustors bereitstellen. Die bevorzugte Superlegierung für die Bestandteile des Combustors ist Inconel 713C. Diese Legierung basiert auf Nickel und umfasst signifikante Anteile von Chrom, Aluminium und Molybdän. Die Betriebstemperatur der Combustorbestandteile, die aus Inconel 713C hergestellt sind, beträgt etwa 1000°C und ist damit ungefähr 200°C höher als die Betriebstemperaturen von Combustoraufbauten, die unter Verwendung herkömmlicher Materialien hergestellt werden.

Durch Vorsehen einer großen Anzahl von Düsen 12 in dem Combustor 10, von denen jede mehrere Verbrennungseinlassluftdurchlässe 56 aufweist, ist die effektive Fläche bzw. Querschnittsfläche, durch welche die Verbrennungseinlassluft strömen kann, relativ hoch. Dies führt zu einem deutlich verringerten Druckabfall für die Verbrennungseinlassluft über den Düsen im Vergleich zu herkömmlichen Combustoren. Diese Verringerung des Druckabfalls über dem Combustor erlaubt die Verwendung eines Niederdruckgebläses oder -lüfters, wodurch sowohl Herstellungskosten bei der Erstellung des Wärmemotors eingespart werden können, wie ein verringerter Energieverbrauch stattfindet durch dieses Bauteil während des Betriebs des Wärmemotors.

Die offenbarte Ausführungsform des Combustors 10 ist dafür eine relativ einfache Herstellung sowie dazu erstellt worden, einen langen wartungsfreien Betrieb zu ermöglichen. Alternative Ausführungsformen des Combustors 10 können problemlos entwickelt werden, ohne die Betriebseigenschaften des Combustors

durch Ersetzen von Bauteilen mit äquivalenten Funktionen zu ändern. Die Zündeinrichtung 20 kann beispielsweise ein geheiztes Element verwenden oder sie kann einen Funken durch den piezoelektrischen Effekt erzeugen. Eine Vielzahl alternativer Verfahren zum Zuführen von Kraftstoff und Verbrennungseinlassluft zu den Düsen 12, wie etwa über Rohrleitungen oder Schläuche, kann anstelle der unteren Platte 14, der oberen Platte 16 und des Kraftstoffkammergehäuses 18 vorgesehen sein, die vorstehend erläutert sind.

Während die dargestellten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Combustors 10 und der Düse 12 optimiert wurden, um typische gasförmige Kraftstoffe, wie etwa natürliches Gas, zu verbrennen, können der Combustor und die Düse problemlos zum Verbrennen weitere Arten an Kraftstoffen, wie etwa verdampftes Benzin, eingesetzt werden. Die dargestellte Ausführungsform des Combustors 10 ist insbesondere zur Verwendung in Verbindung mit dem Wärmemotor des Rechteinhabers 4-120 Stirling Engine Conversion System ausgelegt worden.

Der erfindungsgemäße Combustor 10 kann in Verbindung mit einem Fahrzeug mit ultrageringer Emission ("ULEV-Fahrzeug") verwendet werden, bei welchem der Wärmemotor entweder direkt mit dem Fahrzeugantriebszug verbunden ist, oder bei dem der Wärmemotor als zusätzliche Krafteinheit in einem Hybridelektromotor verwendet wird. Der ULEV-Standard schreibt vor, dass ein Fahrzeug nicht mehr als 2 g NO<sub>x</sub>-Verbindungen pro gefahrener Meile emittieren darf. Bezüglich des erfindungsgemäßen Combustors 10 durchgeführte Tests ergaben NO<sub>x</sub>-Verbindungsemissionen von weniger als 1 Teil pro Million (ppm), wodurch ein Wärmemotor/Combustoraufbau verwendendes Fahrzeug ohne weiteres innerhalb des ULEV-Standards einzuordnen ist. Der erfindungsgemäße



Combustor 10 besitzt eine kurze Flammenlänge, was die Verwendung einer relativ kleinen Verbrennungskammer und eines kompakten Combustor-/Heizgeräteaufbaus erlaubt. Dies ist besonders wichtig für eine Anwendung, die erfordert, dass der Wärmemotor transportabel ist, wie etwa bei einer Fahrzeugmotoranwendung, wo der Platzbedarf eine große Rolle spielt.

Es wird bemerkt, dass die Erfindung nicht auf die vorstehend dargestellte und erläuterte exakte Konstruktion beschränkt ist, sondern zahlreichen Abwandlungen und Modifikationen zugänglich ist, ohne vom Geist und Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen, die in den nachfolgenden Ansprüchen festgelegt ist.

PATENTANSPRÜCHE

1. Combustor (10) für einen Wärmemotor, wobei der Combustor (10) aufweist:  
Ein Gehäuse (38) zum Festlegen einer Verbrennungskammer (30),  
eine Kraftstoffkammereinrichtung (18) zum Bilden einer Kammer (28) in dem Gehäuse (38),  
eine Luftkammereinrichtung (14, 16) zum Bilden einer Luftkammer (26) in dem Gehäuse, mehrere Düsen (12), die in dem Gehäuse (38) angeordnet sind,  
eine Kraftstoffzufuhreinrichtung zum Zuführen von Kraftstoff zu den Düsen (12) durch die Kraftstoffkammereinrichtung (18),  
eine Verbrennungseinlassluftzufuhreinrichtung zum Zuführen von Verbrennungseinlassluft zu den Düsen (12),  
wobei jede der Düsen (12) einen Kraftstoffeinlass (22) in Verbindung mit der Kraftstoffkammereinrichtung (18) und einen Lufteinlass (58) in Verbindung mit der Luftkammereinrichtung (14, 16) aufweist, wobei jede einzelne der Düsen (12) außerdem eine Mischkammer (60) aufweist, die tangential zu dem Lufteinlass (58) ausgerichtet ist, und eine Austragöffnung (24), wobei die Mischkammer (60) es dem Kraftstoff und der Verbrennungseinlassluft erlaubt, in der Mischkammer (60) miteinander vermischt zu werden, um ein verwirbeltes Kraftstoff-Luftgemisch zu erzeugen, wobei die Austragöffnung (24) es dem Kraftstoff-/Luftgemisch erlaubt, aus der Mischkammer (60) in die Verbrennungskammer (30) durch die Austragöffnung (24) ausgetragen zu werden,  
eine Zündeinrichtung (20) zum Zünden des Kraftstoff-/Luftgemisches,

dadurch gekennzeichnet, dass jede der Düsen (12) einzeln und unitär aufgebaut ist und körperlich getrennt ist von der Kraftstoffkammereinrichtung (18) und der Luftkammereinrichtung (14, 16).

2. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffzufuhreinrichtung den Kraftstoff in jede der Mischkammern (60) als einzigen Strom leitet.
3. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennungseinlassluftzufuhreinrichtung die Verbrennungseinlassluft in jede der Mischkammern (60) als mehrere Verbrennungseinlassluftströme leitet.
4. Combustor (10) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennungseinlassluftströme Strömungslinien festlegen, welche den Massenstrom der Verbrennungseinlassluft bezeichnen, die in die Mischkammer (60) gelangt, und dass die Strömungslinien tangential zu einem gemeinsamen Kreis verlaufen.
5. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede der Düsen (12) identisch ist.
6. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsen (12) gleich weit voneinander beabstandet sind.
7. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsen (12) entlang einer gemeinsamen Ebene ausgerichtet sind.

8. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbrennungseinlassluft eine Temperatur größer als 700°C aufweist.
9. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftstoff-/Luftgemisch eine Selbstentzündungstemperatur aufweist und dass die Verbrennungseinlassluft eine Temperatur aufweist, die größer ist als die Selbstentzündungstemperatur des Kraftstoff-/Luftgemisches.
10. Combustor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Düsen (12) zwischen einem Paar von Platten (14, 16) und der Verbrennungseinlassluftzufuhreinrichtung angebracht sind, die die Verbrennungseinlassluft den Düsen (12) zwischen den Platten (14, 16) zuführt.

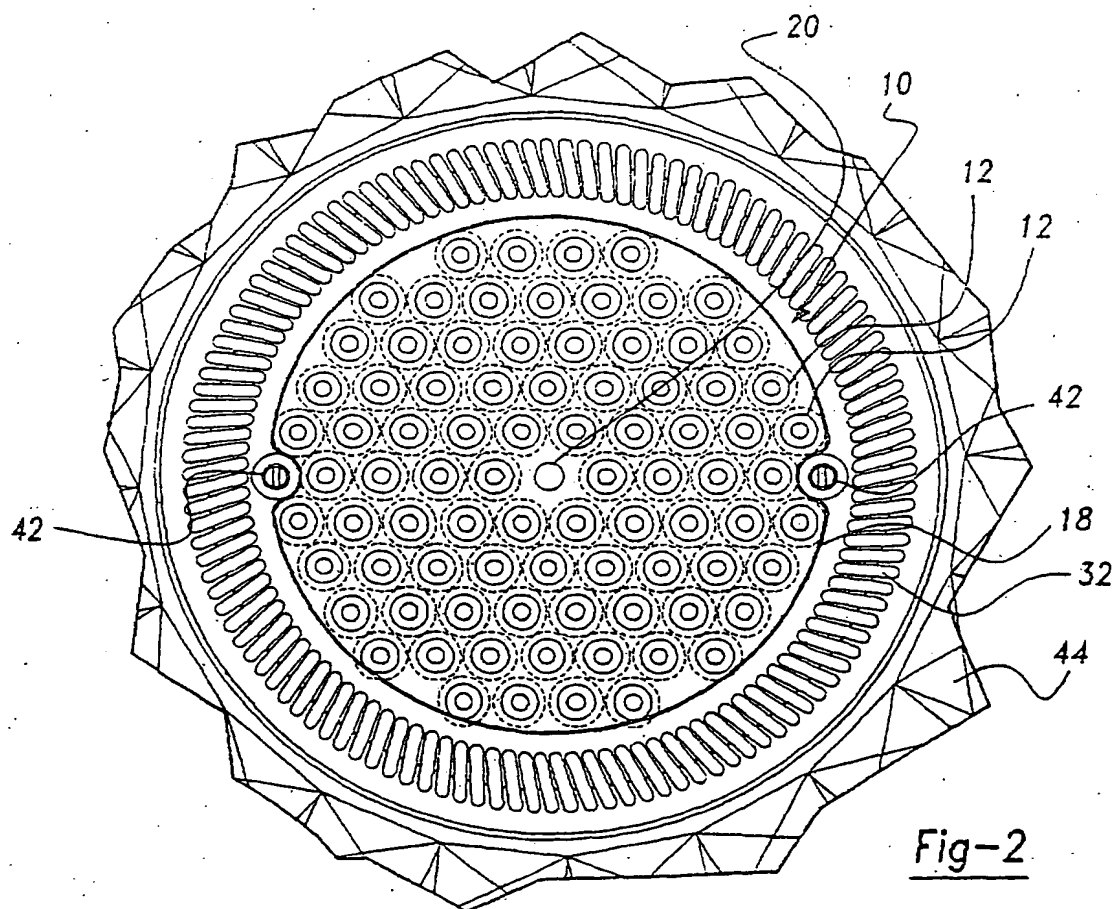
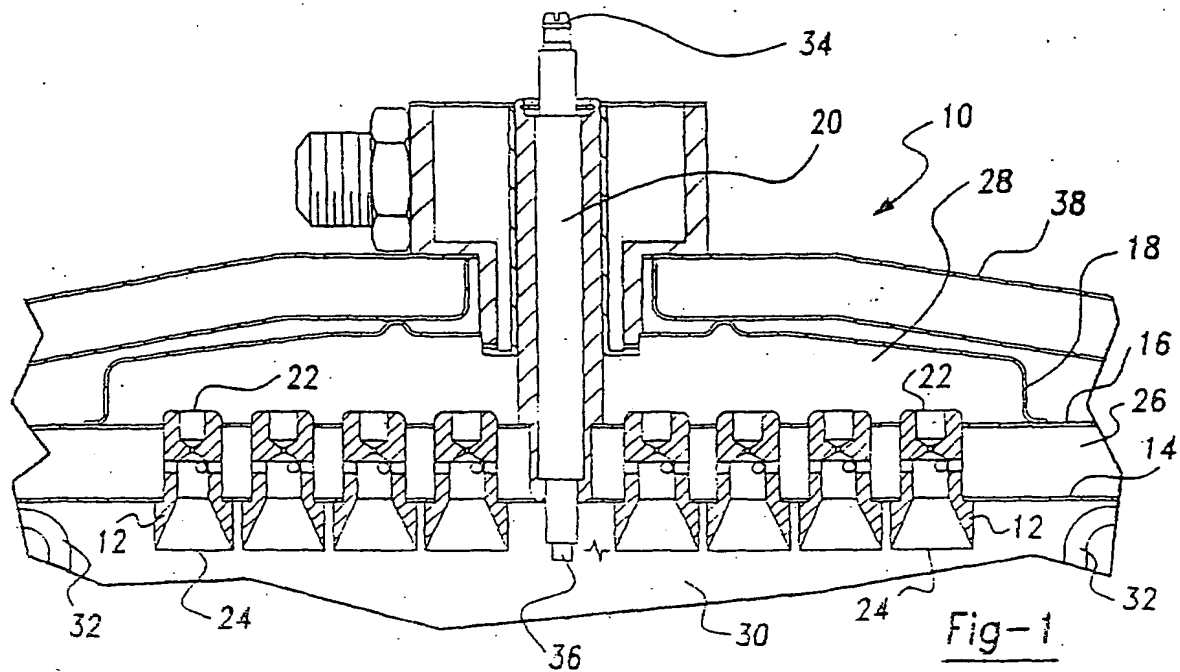


Fig-3

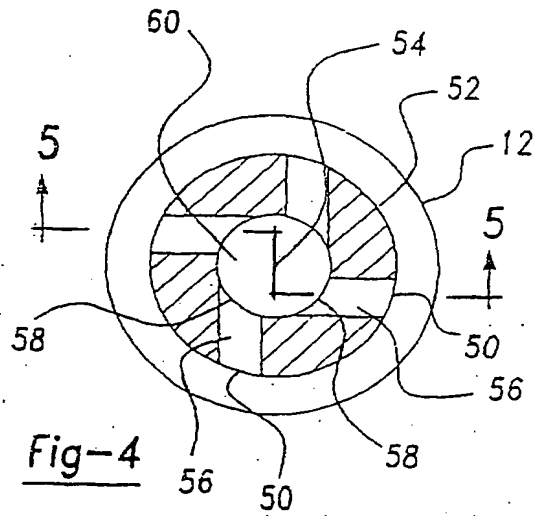
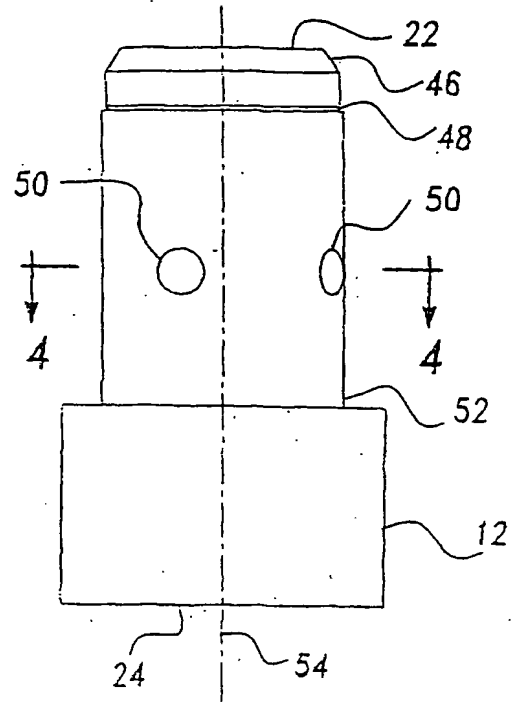
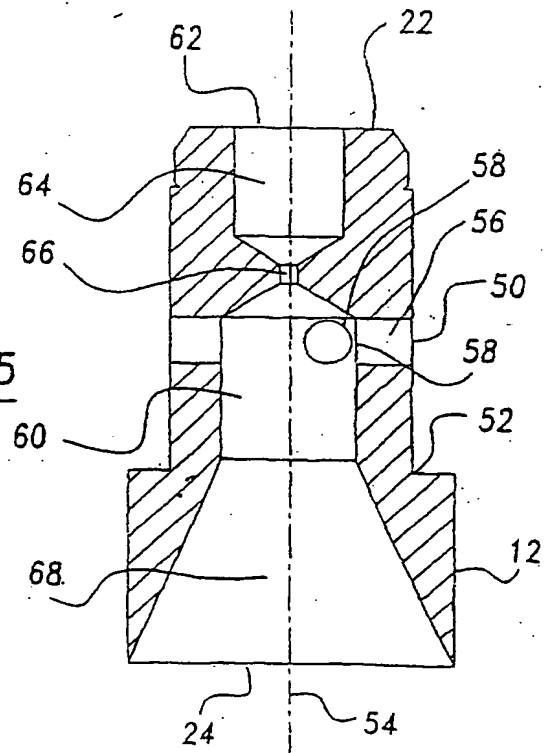


Fig-4

Fig-5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**